1Ш

УДК 004.8:681.3

А.И. Шевченко, И.С. Сальников, Р.И. Сальников, Е.В. Цапко
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины,
г. Донецк, Украина
iss@iai.donetsk.ua

Корпусные модели построения антропоморфных роботов

В статье рассматриваются возможности построения антропоморфных роботов гуманоидного типа на основе конструирования человека по его анатомо-физиологическому строению на базе предлагаемой семиэлементной модели человеческого тела и обеспечения движений верхних и нижних конечностей, головы, шеи и туловища.

Введение

В отличие от разработок организмических моделей человека-антропоморфа [1], которые сразу придают конструкции образ человека разумного, *корпусные модели* (< лат. corpus – тело; организация, основа, суть) принципиально разрабатываются, начиная с выяснения вопроса о том, как будет выглядеть модель-конструкция, из каких частей или корпусов она будет состоять.

Корпусность или делимость модели на части определяется, как правило, при конструировании в зависимости от целевого назначения модели или конструкции. Приведём несколько известных примеров сегментации тела человека из исследований по кинезиологии, используемых для построения его динамических моделей [2].

Виды сегментации тела человека для построения его динамических моделей

15-элементная модель тела человека как робота-гуманоида по Ханавану [2]

Ханаван (1964, 1966) был одним из первых, кто использовал подход, при котором человеческое тело представляется как набор геометрических компонентов, таких как сферы, цилиндры и конусы (Hall, De Pauw, 1982; Hanavan, 1964, 1966; Hatze, 1980, 1981a, 1981b, Miller, 1979). Это дало возможность дополнить данные о сегментах, получаемых на трупах, использовать методы математического моделирования. На рис. 1 представлена модель Ханавана, которая разделяет тело человека на 15 простых геометрических фигур однородной плотности.

14- и 16-сегментные модели человеческого тела в биомеханических исследованиях по Chandler, Zatsiorsky и Seluynov [2]

Во многих биомеханических исследованиях используют организацию сегментов тела. Chandler et al. (1975) используют 14 сегментов: голова, туловище, плечи, предплечья, кисти, бедра, голени (или ноги) и ступни (рис. 3.1).

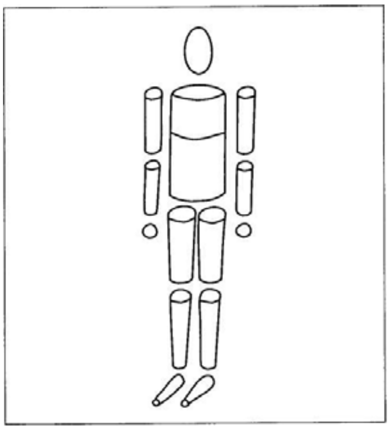


Рисунок 1 – Модель человеческого тела (Hanavan, 1964, 1966)

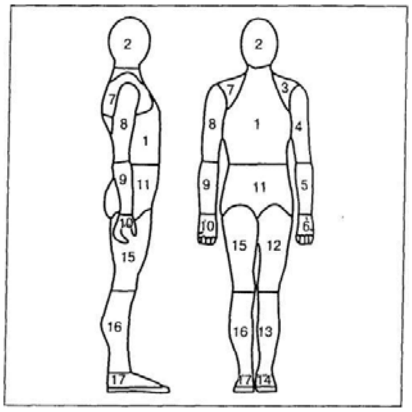


Рисунок 2 – Диаграмма 17-сегментного гуманоида (Hatze, 1980):
1 – грудобрюшной сегмент; 2 – головной; 3 – левое плечо; 4 – левое предплечье; 5 – левая локтевая часть; 6 – левая кисть; 7 –правое предплечье; 8 – правое плечо; 9 – правая локтевая часть; 10 – правая кисть; 11 – брюшно-тазовый сегмент; 12 – левое бедро; 13 – левая голень; 14 – левая ступня; 15 – правое бедро; 16 – правая голень; 17 – правая стопа

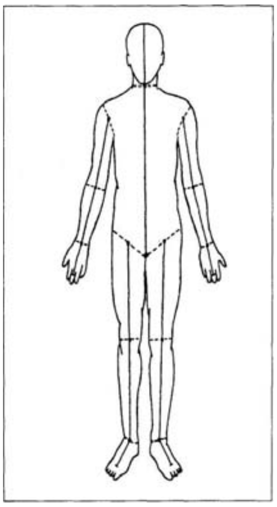


Рисунок 3.1 – Деление туловища
на сегменты
по Chandler et. al. (1975)

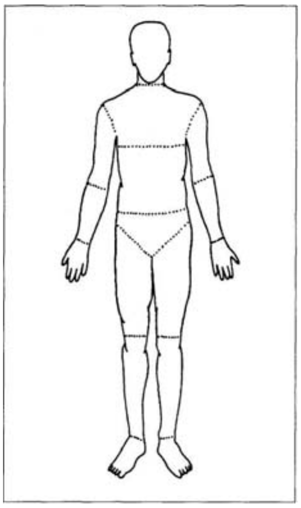


Рисунок 3.2 – Деление туловища на сегменты
по Zatsiorsky
и Seluynov (1983)

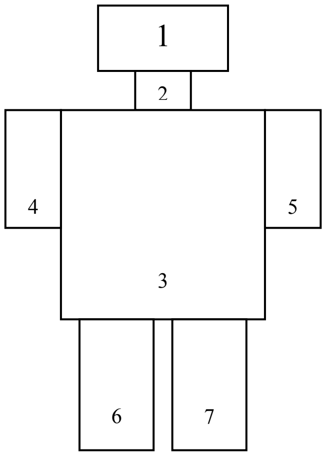


Рисунок 4 – 7-элементная модель человеческого тела
1 – голова; 2 – шея; 3 – туловище; 4, 5 – верхние конечности; 6, 7 – нижние конечности

Zatsiorsky и Seluynov (1983) разделяют тело на 16 сегментов: голова, верхняя часть туловища, средняя и нижняя часть туловища, плечи, предплечья, кисти, бедра, голени и ступни (рис. 3.2).

В отличие от вышеприведенных сегментаций человеческого тела, в настоящем исследовании используется разработанная авторами семиэлементная модель человеческого тела для конструктивного моделирования движений антропоморфного робота-гуманоида (рис. 4).

Элементы учения о движениях человеческого тела. Двигательный аппарат как целостное образование. Единство в строении двигательной системы

Приведём некоторые сведения из современного учения о движениях человеческого тела, двигательного аппарата как целостного образования, о единстве строения двигательной системы человека как пример необычайно сложной и трудно поддающейся моделированию биологической системы, являющейся прототипом создаваемых моделей человека-антропоморфа [3], [4].

Кости, их соединения, отдельные мышцы и их группы обеспечивают движения человеческого тела. Единство двигательной системы достигается функциональным объединением костей, сухожилий, мышц, сосудов и нервных рецепторов в целостную систему. Сокращение мышцы возможно только в случае постоянного поступления дозированных нервных импульсов из центральной нервной системы в определенной последовательности, возникающих под влиянием раздражителей внешней среды.

В задачу анатомического анализа положений и движений тела входит определение этих соотношений и специальное изучение главным образом его внутренних сил – сил его двигательного аппарата.

По отношению к человеческому телу, взятому в целом, внешними силами, то есть силами, приложенными к нему извне, являются прежде всего сила его тяжести и сила реакции опоры. Внутренними силами всегда являются силы, которые обуславливают взаимодействие между отдельными звеньями или материальными точками той или иной системы; у человека это главным образом сила натяжения связок и сила мышц. Различие между внешними и внутренними силами принимается лишь условно, причем одна и та же сила, в частности сила мышц, в одном случае может быть силой внутренней, а в другом – силой внешней.

Если силы, действующие на тело, уравновешены, то оно находится в покое, если же их равнодействующая не равна нулю, то тело перемещается в направлении этой равнодействующей. Каждая из сил в данном случае может быть движущей или тормозной. Что касается действия силы мышц, то здесь взаимоотношения более сложные.

Между мышцами синергистами и антагонистами, т.е. между движущими и тормозными силами, благодаря нервной системе проявляется слаженность в работе движущей и тормозной сил, т.е. мышцы-антагонисты своим тонусом координируют действие мышц-синергистов.

Анатомическая характеристика должна помогать *«пониманию движений тела»*. Анатомический разбор определенных движений ведется обычно в заранее предусмотренной последовательности:

– приводится краткое описание изучаемого положения или движения, т.е. его морфология;

– дается оценка движения с точки зрения механики, т.е. рассмотрение общих взаимоотношений тех условий и тех сил, которые действуют при данном движении;

– рассматриваются наиболее характерные для того или иного положения или движения особенности работы двигательного аппарата, дается описание работы мышц, функции суставов и пр.

При рассмотрении работы отдельных мышц или мышечных групп обращается внимание на следующее:

– какова внешняя форма и степень консистенции мышц и их изменения во время того или иного движения;

– каково направление тяги мышцы или равнодействующей группы мышц относительно той или иной оси вращения данного сустава;

– в каком состоянии находится мышца – в состоянии сокращения или расслабления, укорочена ли она, удлинена или находится в среднем, исходном положении;

– как работает мышца – благодаря своему натяжению или оказывая давление (как, например, мышцы брюшного пресса в отношении внутренних органов брюшной полости);

– какую работу выполняет мышца – работу динамического или статического характера;

– какой является работа – преодолевающей, уступающей, удерживающей или баллистической;

– при какой опоре происходит работа – при проксимальной или при дистальной;

– каково участие данных мышц в укреплении тех суставов, около которых они происходят;

– каково взаимоотношение между мышцами-антагонистами и мышцами-синергистами;

– каким является движение – медленным или быстрым, в какой плоскости оно происходит – в вертикальной или горизонтальной и как эти особенности движения связаны с работой мышц;

– как в том или ином случае изменяется плечо, а вместе с этим и момент вращения силы мышечной тяги и силы тяжести в связи с изменением положения костных звеньев друг относительно друга;

– каковы морфологические и функциональные особенности тех мышц, которые участвуют в данном движении, т.е. является ли данная мышца перистой, веретенообразной, многосуставной, мышцей многоосных суставов и пр.

Дисциплиной, изучающей пространственные движения человека и животных, является биомеханика, которая обычно рассматривается как один из пограничных отделов анатомии и физиологии. Биомеханика оперирует цифровыми, легко сравниваемыми данными. В анатомии этот математический количественный учет не нашел широкого распространения и применения.

Каждый морфолог, в том числе и анатом, обычно представляет себе изучаемые объекты не в виде цифровых сводок, а главным образом в виде зрительных образов. «Мышление образами» вытекает из самой сути анатомических объектов, которые в смысле своей красочности, объемности и структурной сложности неизмеримо богаче любого числового показателя.

Сущность овладения каждым новым движением, равно как и выполнения давно известного движения, состоит в возникновении новых и использовании имеющихся временных связей в коре полушарий большого мозга.

Основные корковые процессы – возбуждение и торможение, их концентрация и иррадиация, их взаимная и последовательная индукция – играют первенствующую роль при выполнении и разучивании движений. При построении каждого нового движения организм использует уже известные ему ранее разученные движения, т.е. тот личный опыт, который был у данного человека до того, как он приступил к разучиванию нового движения.

Для того чтобы изучить новое движение, необходимо иметь о нем представление, которое можно получить на основании слухового или зрительного восприятия (вторая сигнальная система). Когда человек на практике начинает осваивать данное движение, то он сталкивается с тем, что изменяются взаимоотношения между внутренними и внешними силами, обусловливающими выполнение этого движения. При этом кора полушарий большого мозга получает новые раздражения, в ответ на

которые возникают новые временные связи (условные рефлексы), новые двигательные реакции. При разучивании каждого нового движения, т.е., по сути дела, при создании организмом этого движения, в коре происходят физиологические процессы, крайне изменчивые по своей силе и продолжительности. Раздражения, получаемые первой и второй сигнальными системами, поступают в виде возбуждений в кору. В частности, поступают возбуждения, получаемые в результате проприорецептивных, зрительных и других раздражений. В коре происходят основные процессы, обусловливающие ответные импульсы. Кора объединяет и корригирует все ответные реакции. Процесс концентрации возбуждения в коре выражается в том, что по мере разучивания того или иного движения в его выполнении принимает участие все меньшее количество мышц по сравнению с тем, какое было в начале этого разучивания, когда возбуждение в коре было более разлитым, более распространенным.

Этот единый функциональный комплекс, который складывается в деятельности коры полушарий большого мозга под влиянием определенного порядка раздражений, идущих из внешнего мира, равно как и под влиянием раздражений, возникающих внутри организма, и проявляется в этой деятельности, называется *«динамическим стереотипом»*. Слаженная последовательная деятельность коры, повторяющаяся более или менее однообразно, есть выражение этого «динамического стереотипа». Всякое хорошо известное организму движение является стереотипным. Всякому стереотипному движению соответствует определенный порядок процессов в коре полушарий большого мозга. Этот порядок носит название «стереотип». Последнему присуще свойство не оставаться постоянным, а претерпевать изменения.

Каждое новое движение создается на основе использования ранее сформированных и совершенствуемых динамических стереотипов. В связи с этим при анализе того или иного движения представляет интерес не только рассмотрение законченного, хорошо отработанного движения, но и изучение процесса его становления. Знакомство с этим процессом полезно и для понимания данного движения, подобно тому, как знание эмбриологии и сравнительной анатомии помогает пониманию особенностей строения человека.

Существует, по крайней мере, бесконечное множество положений и движений человеческого тела. Многие из них имеют свои названия и конкретные описания.

Методология конструирования человека-антропоморфа и её реализация

Судя по изложенным выше научным представлениям о сложности изучения, тем более моделирования движений отдельных элементов и человеческого тела в целом, авторы пришли к выводу, что наиболее подходящей методологией создания удовлетворительных моделей человека как прототипа антропоморфных систем или роботов-гуманоидов является их конструирование на электронно-механическом уровне, полагая, что высшие функции искусственного мышления и физико-механических движений явятся следствием функционирования этих конструкций и удастся избежать бесконечно сложных и длительных исследований реальных движений и функций человека как такового. Этот подход был определён как *корпусное моделирование*.

Из многих известных авторам настоящего руководства моделей человеческого тела они ориентировались на собственную наиболее простую, но достаточно емкую семиэлементную модель (рис. 4), которая дает возможность описать почти все механические движения человеческого тела: головы, шеи, туловища, рук и ног. С другой

стороны, каждый из семи выделенных элементов человеческого тела как целого имеет свою анатомическую сегментацию в форме областей и линий разрезов кожи, которые приводятся в соответствующих руководствах, разработанных авторами при исследовании анатомических структур тела человека.

В результате исследований, выполненных в Институте проблем искусственного интеллекта под руководством чл.-корр. НАН Украины А.И. Шевченко, были разработаны научные основы функционального проектирования и разработок движений антропоморфных роботов-гуманоидов в виде руководства разработчика и проектировщика в трёх частях, охватывающих двигательный аппарат верхних и нижних конечностей, головы, шеи и туловища человека как прототипа будущих антропоморфных систем и антропоморфных роботов-гуманоидов и представляющих собой исчерпывающее описание двигательного аппарата человека как биологического объекта, способного выполнять определённые функции в рамках своих анатомических возможностей [5].

Для разработчиков антропоморфных робототехнических систем гуманоидного типа из всего комплекса анатомических и физиологических структур человека как их прототипа достаточно знать элементы и функции всего пяти из более чем десяти систем организма человека, а именно:

– остеологическую, или костную, систему;
– синдесмологическую, или соединительную, систему;
– миологическую, или мышечную, систему;
– неврологическую, или нервную, систему;
– эстезиологическую, или сенсорную, систему.

Все остальные системы (пищеварительную, дыхательную, мочеполовую, эндокринную, сердечно-сосудистую, лимфатическую) можно рассматривать в качестве вспомогательных и предназначенных для обслуживания жизнедеятельности первых из названных выше пяти систем организма человека.

В первой серии вышеназванных руководств проектировщика и разработчика антропоморфных робототехнических систем гуманоидного типа представлены необходимые сведения об остеологических, синдесмологических и миологических основах функционирования двигательного аппарата человека.

Представленный в руководствах подход авторов к проектированию и разработкам антропоморфных робототехнических систем гуманоидного типа базируется и на историческом анализе взглядов и дел наших учёных-предшественников, и на современных взглядах на проектирование и разработку современных роботов-гуманоидов, не исключая и разработок в области создания электронных аниматов.

Отсылая читателя, интересующегося проблемой создания, содержания и описания реальных движений человека, к вышеназванным руководствам разработчика и проектировщика [5], остановимся на некоторых особенностях анатомо-функционального строения и движений выделенных нами корпусов человека в его семиэлементной модели тела.

Особенности строения и функционирования корпусной модели человека как прототипа антропоморфного робота-гуманоида

Особенности движения свободной верхней конечности

Рука является наиболее подвижным костно-мышечным аппаратом человеческого тела.

Плечевой пояс (рис. 5, 6) служит не только для опоры верхней конечности, но своими движениями увеличивает ее подвижность. Кости его – лопатка и ключица –

друг по отношению к другу располагаются, при рассмотрении их сверху, под углом, в среднем равным 65°. Лопатка обладает большой подвижностью. Она принимает участие во всех движениях, которые доступны ключице, а, кроме того, может двигаться независимо от последней. Грудиноключичный сустав, подобно шаровидному, имеет три оси вращения.

Ключицу можно поднимать и опускать (на 30 – 35°), двигать вперед и назад (35 – – 40°), а также вращать вокруг продольной оси ее тела (30 – 35°). Наружный конец ключицы может описывать эллипсис, наибольшая ось которого равняется 12 см, а наименьшая, вертикальная, 8 – 10 см.

Лопатка гораздо подвижнее ключицы. Схематически движения лопатки можно представить в виде следующих основных:

1) поднимание и опускание;
2) приведение, т.е. движение в сторону позвоночного столба, и отведение;
3) вращение внутрь и кнаружи.

Нижний угол лопатки может описывать овал между шестым и восьмым ребрами включительно, причем наибольшее возможное для него отстояние от позвоночного столба равняется приблизительно 20 см, наименьшее бывает индивидуально различным, вплоть до того, когда лопатки почти сходятся вместе.

Степень подвижности лопатки вокруг передне-задней оси равна приблизительно 40°.

Плечевой пояс приводят в движение соответствующие мышцы.

Плечевой сустав (рис. 6), по форме шаровидный, имеет три взаимно перпендикулярных оси вращения. Движения возможны следующие: сгибание (движение вперед – «предручить»), разгибание (движение назад – «заручить»), отведение («уручить»), приведение («приручить») и поворот внутрь и кнаружи, пронация и супинация, а также круговое вращение – циркумдукция. Степень подвижности зависит от соотношения между суставной впадиной лопатки и суставной поверхностью головки плеча. Наибольшие движения из среднего положения возможны вперед и кнаружи, именно до 110 – 115°. Меньшую подвижность имеет плечо при разгибании, именно 20 – 60°. Приведение и отведение возможно на 85 – 115°. Вращение вокруг продольной от плеча – более чем на 90°.

К этой подвижности присоединяется подвижность плечевого пояса, в результате чего получается возможность описывать всей рукой, в частности плечевой костью, приблизительно полусферу.

Следует заметить, что литературные данные по поводу подвижности плеча в плечевом суставе довольно разноречивы.

Мышцы, двигающие плечевую кость, вместе с выполняющимися движениями приводятся в соответствующем руководстве.

Локтевой сустав (рис. 6, 7) состоит из трех суставов: плечелоктевого, по форме – блоковидного (одна ось вращения); плечелучевого (шаровидного – три оси вращения) и верхнего лучелоктевого (цилиндрического – одна ось вращения).

Блок плеча имеет дугу в 320°. Суставная поверхность локтевой кости 180°.

Таким образом, сгибание и разгибание предплечья возможны на 140° (320° –180° = = 140°). Объем движения при пронации и супинации предплечья равняется приблизительно 120 – 65°.

Мышцы, двигающие предплечье, и соответствующие им движения приводятся в руководстве [5].

Кисть. Лучезапястный сустав по форме – яйцевидный. Он имеет две оси вращения, вокруг которых происходят сгибание и разгибание, приведение и отведение и, наконец, круговое движение (циркумдукция) кисти. Вращение кисти вокруг третьей, продольной, оси активно производиться не может, пассивное же вращение возможно на 10 – 12°. При движениях в лучезапястном суставе обычно происходит одновременное движение в межзапястном суставе. Сгибание кисти возможно приблизительно на 85°, из коих 55° приходится на лучезапястный и 30° на межзапястный суставы. Разгибание возможно также приблизительно на 85°, из коих на лучезапястный приходится 15° и на межзапястный 70°. Приведение кисти на 40°, а отведение на 20°. Из этих 60° приходится 35° на лучезапястный, а 25° на межзапястный суставы.

Мышцы, двигающие кисть, приводятся вместе с соответствующими движениями в соответствующем руководстве [5].

Мышцы плечевого пояса и свободной верхней конечности при различных положениях костей могут выполнять разную работу.

Приведенное описание движений плечевого пояса и верхней конечности представляет собой лишь упрощенную схему работы описанных механизмов.

Особенности движения свободной нижней конечности

Нога, как и рука, имеет три отдела и три главных сустава, движения в которых соответствуют движениям в суставах верхней конечности.

Бедро (рис. 8) сочленяется с тазом суставом, имеющим ореховидную форму, который, подобно плечевому, имеет три взаимно перпендикулярных оси вращения. Подвижность бедра меньше подвижности плеча. Бедро из «нормального» положения приводится в движение соответствующими мышцами [5].

При бедре, повернутом кнаружи, вращение его внутрь производят также приводящие мышцы. Подвижность бедра зависит от положения, в каком находится голень. Подвижность в тазобедренном суставе можно увеличить за счет приложения внешней силы.

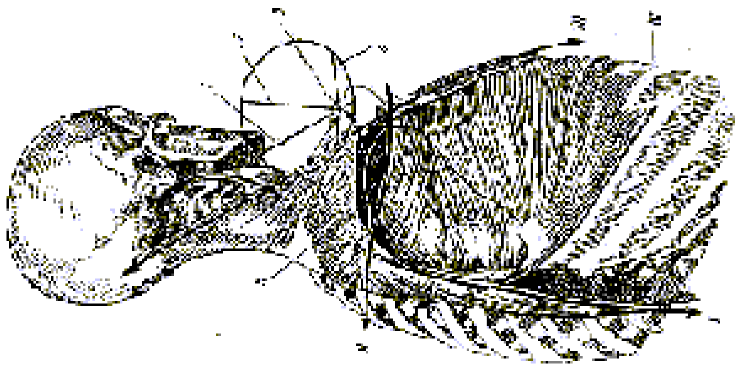


Рисунок 5 – Места начала и места прикрепления мышц верхних конечностей:

Движения акромиального конца ключицы и главнейшие направления движений лопатки: III – направления тяги м., способствующих движению ключицы в грудиноключичном суставе: I – направление тяги вверх – м., поднимающая лопатку, вниз – восходящая часть трапециевидной м.; II – вперед – передняя зубчатая м., назад – поперечная часть трапециевидной м.; III – вверх – нисходящая часть трапециевидной м., вниз – малая грудная м.; IV – направление нижних частей ромбовидной и передней зубчатой м., принимающих участие в движениях лопатки в ее сочленении с ключицей (с использованием данных Моллье и Брауса): 1 – направление тяги верхней части трапециевидной м., 2 – направление тяги м., поднимающей лопатку, 3 – акромиальный конец ключицы, 4 – направление верхней и средней части передней зубчатой м., 5 – ость лопатки

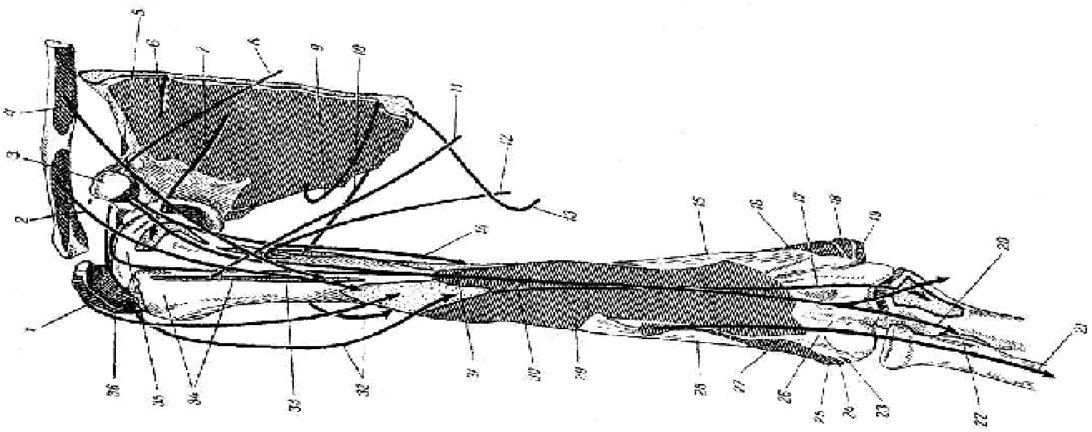


Рисунок 6 – Места начала и места прикрепления мышц плечевого пояса и плеча. Вид спереди (по Браусу):

1 – дельтовидная м. (акромиальная часть), 2 – дельтовидная м. (ключичная часть), 3 – клювовидный отросток лопатки, 4 – большая грудная м. (ключичная часть), 5 – лопаточноподъязычная м., 6 – передняя зубчатая м., 7 – подлопаточная м., 8 – малая грудная м., 9 – передняя зубчатая м. (нижняя часть), 10 – большая круглая м., 11 – большая грудная м., 12 – широчайшая м. спины, 13 – передняя зубчатая м. (нижние зубцы), 14 – клювоплечевая м., 15 – внутренняя межмышечная перегородка, 16 – круглый пронатор, 17 – плечевая м., 18 – лучевой сгибатель запястья, 19 – поверхностный сгибатель пальцев, 20 – двуглавая м. плеча, 21 – плечелучевая м., 22 – бугристость лучевой кости, 23 – мышца-супинатор, 24 – общий разгибатель пальцев, 25 – короткий лучевой разгибатель запястья, 26 – лучевая ямка, 27 – длинный лучевой разгибатель запястья, 28 – наружная межмышечная перегородка, 29 – передняя поверхность плечевой кости (место начала плечевой м.), 30 – плечевая м., 31 – двуглавая м. плеча, 32 – дельтовидная м. (остная часть), 33 – гребень малого бугорка, 34 – большой бугорок и гребень большого бугорка, 35 – анатомическая шейка, 36 – надостная м.

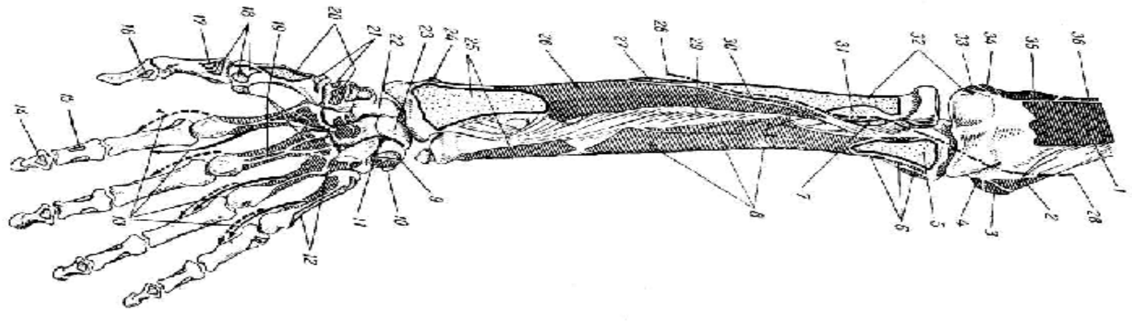


Рисунок 7 – Места начала (заштриховано) и места прикрепления (обозначено точками) мышц передней поверхности предплечья и кисти (по Браусу):

1 – плечевая м., 2 – круглый пронатор, 3 – лучевой сгибатель запястья, 4 – поверхностный сгибатель пальцев, длинная ладонная м. и длинный сгибатель большого пальца, 5 – плечевая м., 6 – локтевые головки поверхностного сгибателя пальцев, длинного сгибателя большого пальца и круглого пронатора, 7 – двуглавая м. плеча, 8 – глубокий сгибатель пальцев, 9 – локтевой, 10 – трехгранная кость, 11 – гороховидная кость и м., отводящая пятый палец, 12 – м., противопоставляющая пятый палец, 13 – внутренние межкостные и червеобразные м., 14 – глубокий сгибатель пальцев, 15 – поверхностный сгибатель пальцев, 16 – длинный сгибатель большого пальца, 17 – короткая отводящая большого пальца, 18 – короткий сгибатель большого пальца, 19 – м., приводящая большой палец, 20 – м., противопоставляющая большой палец, 21 – длинная м., отводящая большой палец, 22 – ладьеобразная кость, 23 – полулунная кость, 24 – плечелучевая м., 25 – квадратный пронатор, 26 – длинный сгибатель большого пальца, 27 – круглый пронатор, 28 – пограничная линия между группой сгибателей и разгибателей запястья и пальцев, 29 – межкостная перепонка, 30 – поверхностный сгибатель пальцев, 31 – лучевая бугристость, 32 – мышца-супинатор, 33 – общий разгибатель пальцев, 34 – короткий лучевой разгибатель запястья, 35 – длинный лучевой разгибатель запястья, 36 – плечелучевая м.

Коленный сустав (рис. 8, 9) по своей форме является спиральным блоковидно-шаровидным. Когда голень разогнута, в коленном суставе возможно только сгибание (блоковидный сустав). Когда голень согнута, то она может вращаться вокруг своей продольной оси и производить некоторую циркумдукцию (шаровидный сустав).

Движения голени в коленном суставе производят соответствующие мышцы [5].

Сухожилия сгибателей при разогнутом положении голени проходят близко к оси сустава. По мере сгибания до 90° они от оси сустава несколько отдаляются, причем увеличивается плечо рычага их тяги, вместе с чем возрастает их момент вращения. Надколенная чашка, подобно другим сесамовидным костям, играет большую механическую роль: она увеличивает плечо рычага четырехглавой мышцы, а кроме того, препятствует ущемлению сухожилия этой мышцы при разгибании голени, что особенно возможно в том случае, когда на область коленного сустава при его разгибании имеется спереди какое-нибудь давление.

Голеностопный сустав (рис. 9, 10) можно считать блоковидным. Из среднего положения стопы в нем возможны два движения: разгибание, или движение в тыльную сторону (25°), и сгибание, или подошвенное сгибание (40°), которые производятся соответствующими мышцами.

В **тараннопяточном** и **тараннопяточноладьеобразном суставах** (рис. 10) возможны пронации и супинации стопы. Сустав этот цилиндрический, и ось в нем проходит спереди назад и изнутри кнаружи. Пронация возможна на 15°, а супинация – на 25°. При супинации поднимается внутренний, а три пронации наружный край стопы. Движения в этих суставах производятся соответствующими мышцами.

Места начала и места прикрепления мышц нижних конечностей

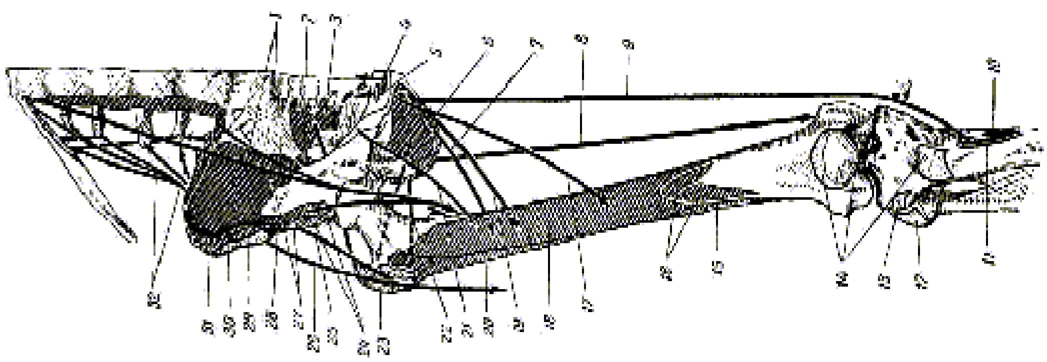


Рисунок 8 – Места начала (заштриховано) и места прикрепления (обозначено точками) мышц бедра. Вид спереди (по Браусу):

1 – большая поясничная м., 2 – внутренняя запирательная м., 3 – грушевидная м., 4 – пирамидная м., 5 – прямая м. живота, 6 – наружная запирательная м., 7 – малая приводящая м., 8 – большая приводящая м., 9 – нежная м., 10 – полусухожильная м., 11 – портняжная м., 12 – двуглавая м. бедра, 13 – подвздошнобольшеберцовый тракт, 14 – четырехглавая м. бедра, 15 – наружная широкая м. бедра, 16 – м. коленного сустава, 17 – длинная приводящая м., 18 – широкая промежуточная м., 19 – короткая приводящая м., 20 – наружная широкая м., 21 – гребешковая м., 22 – квадратная м. бедра, 23 – средняя ягодичная м., 24 – прямая м. бедра, 25 – малая ягодичная м., 26 – м., натягивающая широкую фасцию, 27 – подвздошная м., 28 – портняжная м., 29 – наружная косая м. живота, 30 – внутренняя косая м. живота, 31 – поперечная м. живота, 32 – квадратная м. живота

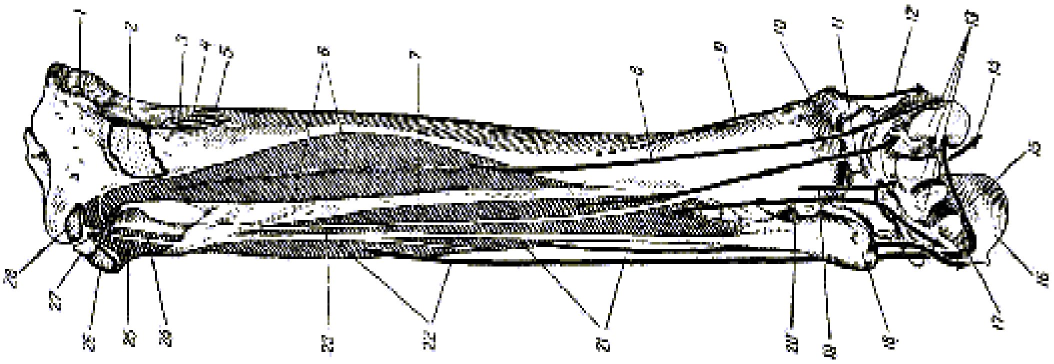


Рисунок 9 – Места начала (заштриховано) и места прикрепления (обозначено точками) передних и наружных мышц голени. На стопе показаны только кости предплюсны. Вид спереди (по Браусу):

1 – внутренний мыщелок, 2 – бугристость большеберцовой кости (четырехглавая м. бедра), 3 – портняжная м., 4 – нежная м., 5 – полусухожильная м., 6 – передняя большеберцовая м., 7 – длинный разгибатель большого пальца, 8 – передняя большеберцовая м., 9 – задняя большеберцовая м., 10 – внутренняя лодыжка, 11 – длинный разгибатель большого пальца, 12 – задняя большеберцовая м., 13 – клиновидные кости, 14 – длинный сгибатель большого пальца, 15 – длинная малоберцовая м., 16 – пяточный бугор, 17 – кубовидная кость, 18 – наружная лодыжка, 19 – длинный разгибатель пальцев, 20 – третья малоберцовая м., 21 – короткая малоберцовая м., 22 – длинная малоберцовая м., 23 – длинный разгибатель пальцев, 24 – длинный разгибатель пальцев, 25 – длинная малоберцовая м., 26 – двуглавая м. бедра, 27 – верхушка головки малоберцовой кости, 28 – м., натягивающая широкую фасцию (подвздошнобольшеберцовый тракт)

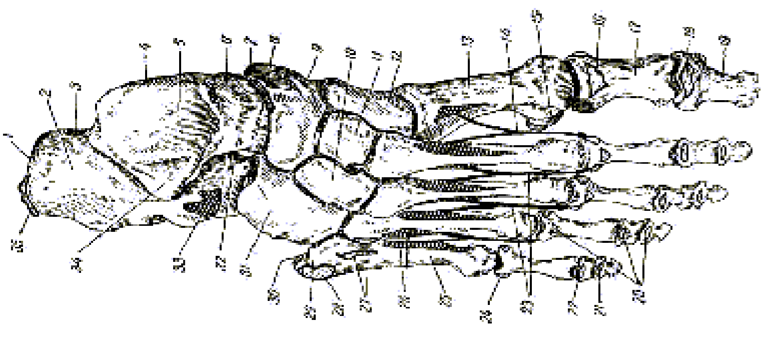


Рисунок 10 – Места начала (заштриховано) и места прикрепления (показано точками) мышц на стопе. Тыльная поверхность (по Браусу):

1 – бугор пяточной кости, 2 – пяточная кость, 3 – квадратная м. подошвы, 4 – таранная кость, 5 – блок таранной кости, 6 – шейка таранной кости, 7 – бугристость ладьеобразной кости, 8 – головка таранной кости, 9 – ладьеобразная кость, 10 – третья клиновидная кость, 11 – вторая клиновидная кость, 12 – первая клиновидная кость, 13 – первая плюсневая кость, 14 – наружная межкостная м., 15 – сесамовидная кость, 16 – короткий разгибатель большого пальца, 17 – первая фаланга, 18 – длинный разгибатель большого пальца, 19 – вторая фаланга, 20 – длинный и короткий разгибатели пальцев, 21 – длинный разгибатель пальцев, 22 – короткий разгибатель пальцев, 23 – наружная межкостная м., 24 – м., отводящая пятый палец, 25 – пятая плюсневая кость, 26 – наружная межкостная м., 27 – третья малоберцовая м., 28 – короткая малоберцовая м., 29 – бугристость пятой плюсневой кости, 30 – м., отводящая пятый палец, 31 – кубовидная кость, 32 – пазуха предплюсны, 33 – короткий разгибатель пальцев, короткий разгибатель большого пальца, 34 – наружный отросток таранной кости, 35 – пяточное сухожилие

Места начала и места прикрепления мышц туловища

Скелет туловища образован позвоночным столбом и грудной клеткой. К скелету туловища примыкают пояса конечностей, верхней и нижней. Одной из функций этих поясов является то, что они служат для прикрепления некоторых мышц туловища (рис. 11) [5].

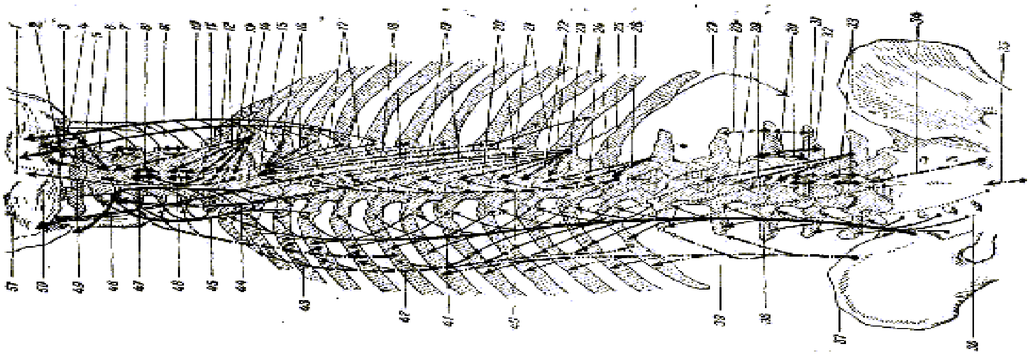


Рисунок 11 – Схема глубоких мышц спины (по Браусу):

1 – наружное затылочное возвышение, 2 – малая прямая м. головы, 3 – верхняя косая м. головы, 4 – наружная прямая м. головы, 5 – большая прямая м. головы, 6 – нижняя косая м. головы, 7 – задняя межпоперечная м., 8 – межостистая м., 9 и 10 – полуостистая м. головы, 11 – полуостистая м. шеи, 12 – многораздельная м. шеи, 13 и 14 – мм. ротаторы, 15 – 2-й грудной позвонок, 16 – мм., поворачивающие (ротаторы), 17 – многораздельные мм., 18 и 19 – полуостистые мм., 20 – многораздельные мм., 21 – мм., поднимающие ребра, 22 – мм. ротаторы, 23 – поперечный отросток 11-го грудного позвонка, 24 – многораздельные мм., 25 – наружные межреберные мм., 26 – мм. ротаторы, 27 – наружная косая м. живота, 28 – межпоперечная м., 29 – многораздельные мм., 30 – межпоперечные мм., 31 – мм. ротаторы, 32 – поперечный отросток, 33 – межостистые мм., 34 – многораздельные мм., 35 – задняя крестцовокопчиковая м., 36 – боковой крестцовый гребень, 37 – подвздошная кость, 38 – длиннейшая м., 39 – подвздошнореберная м., 40 – остистая м., 41 – длиннейшая м., 42 и 43 – подвздошнореберная м., 44 – пластырная м., 45 – длиннейшая м., 46 – остистая м., 47 – длиннейшая м., 48 – пластырная м., 49 – остистая м., 50 и 51 – выйные линии

Заключение

Использование семиэлементной модели человеческого тела для моделирования движения антропоморфного робота-гуманоида позволяет применять методологию корпусного проектирования человека-антропоморфа, выделяя основные части (голова, шея, туловище, верхние и нижние конечности) в качестве главных носителей и исполнителей движения человека и соответствующей ему гомоморфной модели, которую можно совершенствовать до полной изоморфности по отношению к прототипу, то есть реализовать идею технического конструирования искусственного человека, способного выполнять любые движения, на которые способен его прототип-человек.

Литература

1. Шевченко А.И. О принципах построения искусственного интеллекта в антопоморфных системах / А.И. Шевченко, И.С. Сальников, Р.И. Сальников // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 4-19.
2. Энока Р.М. Основы кинезиологии / Энока Р.М. – Киев : Олимпийская литература, 1998.
3. Иваницкий М.Ф. Движения человеческого тела / Иваницкий М.Ф. – Москва : Физкультура и спорт, 1938. – 264 с.
4. Иваницкий М.Ф. Анатомия человека / Иваницкий М.Ф. – Москва : Физкультура и спорт, 1965. – Т. 1. – 520 с.; 1966. – Т. 2. –352 с.
5. Научные основы функционального проектирования и разработок движений антропоморфных роботов гуманоидного типа. Руководство разработчика и проектировщика. – Донецьк : ІПШІ «Наука і освіта», 2009. – Часть 1. – 116 с.; 2010. – Часть 2. – 134 с.; 2011. – Часть 3. – 150 с. препринт.

Literatura

1. Shevchenko A.I.Iskusstvennyjintellekt. № 4. 2010. S. 4-19.
2. Jenoka R.M. Osnovykineziologii. Kiev: Olimpijskajaliteratura. 1998.
3. Ivanickij M.F. Dvizhenijachelovecheskogotela. Moskva: Fizkul'turai sport. 1938. 264 s.
4. Ivanickij M.F. Anatomijacheloveka. T1-2. Moskva: Fizkul'turai sport. 1965-1966. 520 s. 352 s.

А.І. Шевченко, І.С. Сальников, Р.І. Сальников, Є.В. Цапко

Корпусні моделі побудови антропоморфних роботів

У статті розглядаються можливості побудови антропоморфних роботів гуманоїдного типу на основі конструювання людини за її анатомо-фізіологічною будовою на базі запропонованої семиелементної моделі людського тіла і забезпечення рухів верхніх і нижніх кінцівок, голови, шиї і тулуба.

A.I. Shevchenko, I.S. Salnikov, R.I. Salnikov, E.V. Tsapko

Corps-type models of construction of anthropomorphous robots

In the article possibilities of construction of anthropomorphous robots of humanoid type are examined on the basis of constructing of man on his anatomo-fiziologicheskomu structure on the base of the offered sevenelement model of human body and providing of motions of overhead and lower extremities, head, neck and trunk.

Статья поступила в редакцию 08.07.2011.